

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

(ESCUDO)

Análisis Químico y Digestibilidad in vitro de Rastrojo de Maíz (Zea mays) a Diferente Tamaño de Partícula Tratado con Amoniacó Anhidro (NH₃).

Por:

CALIXTRO MAGAÑA ESPAÑA

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo Zootecnista.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 1998.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Análisis Químico y Digestibilidad in vitro de Rastrojo de Maíz (Zea mays) a
Diferente Tamaño de Partícula Tratado con Amoniaco Anhidro (NH₃).

Por:

CALIXTRO MAGAÑA ESPAÑA

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador
como requisito parcial para obtener el titulo de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

APROBADA

Presidente del Jurado

Ph. D. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez

Sinodal

Sinodal

M.C. Lorenzo Suárez García

M.C. Manuel Torres Hernández

El jefe del Departamento de Producción Animal

M.V. Z. Maurilio J. Udave Leza

Buenavista, Saltillo, Coah,

Mayo de 1998.

Agradecimientos:

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme adoptado y así pude terminar la licenciatura.

Al extinto Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT) donde tuve mis primeras experiencias y donde se me inculcaron los principios de las ciencias agrícolas.

A mis sinodales y asesores en la presente tesis:

Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez

M.C. Lorenzo Suárez García

Ing. José R. Peña Oranday

M.C. Nelson Jesús Pech May

A la familia Alvarez Cabrera su amistad y ayuda desinteresada significó mucho para mí durante mi estancia en Saltillo.

A la Sra. Lupita Rodríguez Flores por su valiosa colaboración en la revisión del presente texto.

Dedicatoria:

A mi madre:

Esther España Gómez

Ami padre:

Antonio Magaña Jiménez

A mis hermanos:

María de Lourdes

Teresa de Jesús

Antonio

Gabriel

Isela

Everardo

Julio César

Irene Isabel

A mis sobrinos:

Wendy

Pancho

Cheto

Chabela

Carlos

Joana

Itzel

A Doña Sofía Cabrera (q. p. d.) que fue como mi segunda madre.

A los dos mejores amigos que me encontré por estos caminos de la vida:

Rogelio Alonso Huerta y Alfredo Maliachi Sansores.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	XXX
INDICE DE GRAFICAS.....	XXXi
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	4
HIPOTESIS.....	4
REVISION DE LITERATURA.....	5
Los Residuos Agrícolas y sus Características.....	5
Tratamiento de Forrajes Tosco.....	7
Tratamiento Físico de los forrajes.....	8
Tratamiento Químico de las Pajas.....	10
El tamaño de Partícula y su Efecto sobre el Valor Nutritivo de los Forrajes y el Consumo por los Animales.....	11
El Amoniaco Anhidro (NH ₃), Características y Usos.....	13
El Amoniaco como Preservativo.....	13
Ventajas y Desventajas del Uso de Amoniaco Anhidro (NH ₃), en Pajas y otros Materiales Fibrosos.	14
Efecto del Amoniaco Anhidro sobre el Valor Nutritivo de Forrajes y su Utilización en la Alimentación de Rumiantes.....	15
Comparación de los Efectos del Amoniaco Anhidro y otras Sustancias Alcalinas.....	21
MATERIALES Y METODOS.....	24
Métodos.....	24
Preparación de silos.....	24
RESULTADOS Y DISCUSION.....	27
Análisis Químico.....	27
Digestibilidad in vitro de la Materia Orgánica (MO) y de la Materia Seca (MS).....	32
CONCLUSIONES.....	35
RESUMEN.....	36
LITERATURA CITADA.....	38

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
4.1	Análisis químico del rastrojo de maíz sin tratamiento y tratado con amoniaco a diferente tamaño de partícula.....	27
4.2	Porcentaje de fracciones de fibra del rastrojo de maíz sin tratar y tratado con amoniaco a diferente tamaño de partícula.....	30
4.3	Porcentajes de digestibilidad in vitro de la M.S. y M.O. del rastrojo de maíz sin tratar y tratado con amoniaco a diferente tamaño de partícula.....	32

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica		Página
4.1	Análisis químico del rastrojo de maíz sin tratamiento y tratado con amoniaco a diferente tamaño de partícula.....	28
4.2	Porcentaje de fracciones de fibra del rastrojo de maíz sin tratar y tratado con amoniaco a diferente tamaño de partícula.....	31
4.3	Porcentajes de digestibilidad in vitro de la MS y MO del rastrojo de maíz tratado y sin tratar con amoniaco a diferente tamaño de partícula.....	33

INTRODUCCION

En nuestro país es común la utilización del rastrojo de maíz como alimento para rumiantes, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas pese a que posee poco valor alimenticio, baja digestibilidad y son muy toscos debido a su estado de lignificación.

La creciente demanda de granos para la alimentación humana limita cada vez más el uso de éstos en las explotaciones de rumiantes. Por otro lado, los elevados precios de los forrajes de buena calidad generalmente ocupan un lugar importante en los costos de producción de alimentos de origen animal.

El interés por la utilización de residuos agrícolas en la alimentación de rumiantes se ha venido incrementando en el ámbito mundial en los últimos años, a medida que la disponibilidad de granos se reduce; en México se producen alrededor de 70 millones de toneladas de residuos agrícolas de los cuales el rastrojo de maíz, de sorgo y paja de trigo representan respectivamente 58, 12 y 15 por ciento (INEGI, 1997).

En años recientes se ha incrementado el uso de residuos agrícolas de bajo valor nutritivo en raciones para rumiantes en sistemas intensivos de producción animal, debido básicamente a dos razones:

- a) La competencia nula entre monogástricos y rumiantes por alimentos fibrosos.
- b) La habilidad que tienen los rumiantes para convertir materiales fibrosos en productos útiles para el hombre, como es el caso de la leche, carne, pieles, lana etc.

Ultimamente se han empezado a desarrollar métodos para tratar a los forrajes fibrosos y así poder incrementar su digestibilidad y los que han reportado los mejores resultados son los que se han realizado con la aplicación de sustancias alcalinas.

En la mayoría de los casos se ha comprobado un efecto benéfico en cuanto al consumo voluntario, digestibilidad y ganancia de peso de los animales alimentados con los subproductos tratados con sustancias alcalinas.

En términos generales, el método de acción de los álcalis es a través de la ruptura de las paredes celulares por medio de la solubilización de la hemicelulosa, la hidrólisis de los ésteres de ácidos urónicos y acéticos, aumentando la tasa de digestión ruminal de la celulosa al sufrir ésta un aumento en sus dimensiones y exponer mayor superficie al ataque de los microorganismos ruminales (Klopfenstein, 1980).

En México el rastrojo de maíz tiene una disponibilidad superior a los 40 millones de toneladas al año (García, 1992) que puede ser enriquecida por decirlo de esta manera mediante tratamientos químicos como son los álcalis Amoniacó (NH_3), Hidróxido de sodio (NaOH), Urea (NH_4CO_3).

Al tratar el rastrojo con las sustancias alcalinas antes descritas y realizar una predigestión sobre éste, se podría aprovechar de un modo más eficiente ya que al hacerlo más disponible a los microorganismos del rumen se podría elevar la producción de carne y/o leche con un costo menor de producción ya que estos subproductos no son caros y las técnicas y materiales utilizados están al alcance de la mano y pueden ser llevadas a cabo sin una capacitación que merezca mayor importancia.

A pesar del potencial que ofrece el tratamiento químico para mejorar el valor nutritivo del rastrojo de maíz, la información en México en experimentos con animales es muy limitada.

El empleo del rastrojo tratado con sustancias alcalinas en la alimentación de rumiantes podría ayudar a satisfacer la demanda de productos protéicos de origen animal y obtener mayores beneficios.

Los rastrojos tratados con álcalis se podrían emplear con éxito en zonas de nuestro territorio donde hay deficiencias de pastura sobre todo en épocas del año y en lugares donde la calidad del forraje es baja.

En la literatura existe información suficiente para no dudar que el nitrógeno ligado al pienso por medio de la amonificación puede utilizarse para la síntesis protéica en el rumen a través de la flora microbiana en forma similar a otras fuentes de nitrógeno no protéico (NNP).

Otro aspecto importante es el de determinar el tamaño óptimo del rastrojo para que pueda ser aprovechado por los microorganismos ruminales después de haber sido sometidos al tratamiento químico; por lo tanto los objetivos del presente estudio son los siguientes:

OBJETIVOS:

1. - Evaluar los efectos del Amoniacó Anhidro sobre el rastrojo de maíz a diferente tamaño de partículas (pacas, picado y molido), mediante análisis proximal determinando: Materia Seca (MS), Proteína, Extracto Etéreo (EE), Nitrógeno no Protéico (NNP), Fibra , Cenizas y NDF, ADF y ADL mediante la técnica de Van Soest.

2. - Evaluar la digestibilidad "in vitro" del rastrojo de maíz tratado y no tratado con amoniaco.

HIPOTESIS:

1. - El amoniaco anhidro (NH_3) realiza una predigestión leve sobre el material fibroso (Lignina, Celulosa y Hemicelulosa) del rastrojo de maíz y al mismo tiempo incrementa el contenido de nitrógeno.

2. - El amoniaco incrementa la digestibilidad de los forrajes toscos.

3. - El tamaño de partícula influye en la digestibilidad y variación de los constituyentes del forraje de maíz.

REVISION DE LITERATURA.

Los Residuos Agrícolas y sus Características.

Klopfenstein (1980) menciona que en algunos países es impresionante el potencial que tienen los residuos de cosechas para la producción animal ya que al menos por cada kilogramo de grano producido queda en el campo la misma cantidad de forraje, pero el problema radica en que la planta al momento de la cosecha del grano es madura de tal manera que este esquilmo es muy fibroso.

El uso de residuos de cosechas está relacionado principalmente con el tipo de residuo cosechado, disponibilidad y calidad de sus nutrientes para satisfacer los requerimientos de los animales y por otro lado se requiere que los costos de corte, manejo, transporte, almacenamiento y procesamiento sean lo suficientemente bajos para competir con otras fuentes de alimentos (Brown, 1990).

De acuerdo a la clasificación internacional de alimentos, las pajas y rastrojos están comprendidos dentro del grupo de forrajes toscos pertenecientes al primero de los ocho grupos, junto con la harina de alfalfa, heno de gramíneas y leguminosas, cascarillas de semillas, etc. Estos forrajes se caracterizan por su alto contenido de fibra mayor al 18 por ciento (Church, 1989).

Las características generales de los forrajes toscos son las de ser alimentos voluminosos, con poco peso por unidad de volumen, la mayoría de ellos presentan un alto contenido de material clasificado como paredes celulares compuestas por altas y variadas cantidades de celulosa,

hemicelulosa, lignina y sílice y son pobres en carbohidratos fácilmente utilizables, si se comparan con los granos (Van Soest, 1970).

Los remanentes agrícolas como las pajas y los rastrojos tienen una baja calidad nutritiva debido principalmente a su estado de madurez (lignificación), por lo que resultan con las siguientes características:

- a) Alto grado de lignificación con la presencia de uniones éster entre la lignina, hemicelulosa y celulosa.
- b) Presencia de residuos acetilos en la celulosa que reduce la digestibilidad.
- c) Alta cristalización de la celulosa, lo que hace más lenta la digestión.
- d) Presencia de Sílice y
- e) Bajo contenido de proteína cruda.

Por su parte Nicholson (1984) cita que el contenido nutricional y digestibilidad de las pajas depende de la especie de forraje, grado de maduración, grado de deterioro y método de manejo. El mismo autor menciona que el valor nutritivo del rastrojo de maíz es mayor que la de otros esquilmos y el ganado puede ser introducido dentro de los cultivos después de la cosecha del grano para recoger el forraje o el rastrojo puede ser picado, molido o ensilado en forma similar al ensilaje de maíz.

Por ejemplo en un trabajo de Balch y Campling (1982) usaron novillos para comparar el ensilaje de rastrojo de maíz que queda después de la cosecha del grano con alta humedad o alrededor de un mes después de que el grano seco fue cosechado; los rastrojos fueron comparados con ensilaje de maíz normal y obtuvieron que las ganancias diarias promedio en dos pruebas en años diferentes fueron de 0.650 kg para el rastrojo con alta humedad, 0.480 kg para el forraje después de la cosecha y 0.880 kg para el ensilaje normal.

Tratamiento de Forrajes Toscos.

La tendencia actual en la alimentación con grandes cantidades de forrajes toscos, es fundamentalmente la manipulación de tres factores:

- a) Estimulación de la acción bacteriana en el rumen.
- b) Tratamiento físico de los forrajes.
- c) Tratamiento químico de los forrajes (Balsen et al. 1987).

Con el fin de mejorar la calidad nutritiva de los forrajes toscos se han desarrollado métodos de tratamientos físicos, químicos y biológicos. Dentro de los tratamientos físicos más utilizados están: el molido, picado, peletizado, por presión de vapor; aunque existen otros como el empleo de radiaciones (Llamas 1984).

Los tratamientos químicos se realizan tomando como base a sustancias ácidas y alcalinas; entre las primeras las más usadas son: el ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido clorhídrico (HCl) ácido fórmico (HCOOH) entre otras; las sustancias alcalinas que se manejan más son: el hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH), hidróxido de calcio $\{Ca(OH)_2\}$, hidróxido de amonio (NH_4OH) y últimamente el amoniaco anhidro (NH_3) aunque también se emplea la urea ($2NH_2CO$) como precursor del amoniaco (Shimada, 1983 y Klopfenstein, 1980).

Los tratamientos biológicos se realizan mediante la utilización de hongos como los de pudrición suave, oscura y blanca (Nicholson, 1984).

Por ejemplo Khan et al. (1990) evaluó la influencia del hongo que crece en el heno de la pradera (Agropirum elymus) en la calidad nutricional del heno tratado con amoniaco y encontró que se incrementó la NDF de 72 a 75 por ciento, el contenido de PC de 8.3 a 12.9, por ciento

la digestibilidad de la materia orgánica sin presencia de hongos se incrementó 8 por ciento y con hongos 22 por ciento.

De las técnicas que se han desarrollado hasta la fecha, las que han demostrado mejores resultados sobre las pajas y rastrojos son los métodos químicos y dentro de estos la utilización de sustancias alcalinas, pero el que más se ha popularizado en los últimos años y tiene mayores ventajas es el método de la amonificación ya que es más económico que aquellos que utilizan otras sustancias químicas (Oji *et al.*, 1977).

Tratamiento Físico de los Forrajes.

El consumo voluntario y la digestibilidad de los alimentos son parte primordial del valor nutritivo (Rexen, 1989).

Waldo, (1980) expresa el valor nutritivo de un forraje como el producto del consumo voluntario por la digestibilidad y por la eficiencia de utilización de sus nutrientes. En relación a esto, Jackson (1980) expresa que el objetivo del tratamiento de pajas y rastrojos es incrementar la digestibilidad y/o consumo voluntario.

El tratamiento físico consiste en tratar mecánicamente a las pajas, ya sea molerlas, picarlas, peletizarlas etc. El tratamiento mecánico no mejora la digestibilidad pero el consumo voluntario si se incrementa; resultados experimentales muestran que el efecto del molido o peletizado se refleja en una pequeña disminución de la digestibilidad (5-10 por ciento) y un incremento notable en el consumo voluntario (Pigden y Bender, 1978). Estos hechos son explicables basándose en las características de los procesos digestivos de los rumiantes.

Balch y Campling (1982) expresan que el consumo voluntario de los forrajes fibrosos está regulado por la rapidez de degradación hasta el tamaño de partícula adecuada para pasar el agujero retículo-omasal, en

cambio en el forraje tratado mecánicamente el agujero retículo-omasal no obstruye el vaciado del rumen, disminuyendo el tiempo de retención en dicho órgano.

En relación a esto, Horton y Steacy (1979) expresan que el consumo voluntario está relacionado en forma inversa con el tiempo de retención, de forma que una disminución de este último se refleja fuertemente en un incremento del consumo.

Gill *et al.* (1979) explica que la velocidad de digestión de la celulosa y los carbohidratos estructurales es proporcional a la superficie libre que presentan los forrajes, se ha encontrado una disminución hasta del 27 por ciento en el tiempo de retención de la paja de arroz en forma de comprimidos, causando una disminución en la digestibilidad de un 10 por ciento, en cambio el consumo voluntario se incrementó en un 30 por ciento produciendo un aumento de energía neta disponible de un 11 por ciento.

Similares resultados fueron encontrados por Fernández y Greenhalgh (1982) resultando en un incremento de 30 por ciento en el consumo voluntario en paja de trigo molida con respecto a la picada y un 15 por ciento de energía digestible. Otro método físico que a diferencia del anterior incrementa considerablemente la digestibilidad de los forrajes toscos, es el tratamiento con vapor caliente. El mecanismo de reacción con este tratamiento está relacionado con la acción de delignificación y la liberación de los ácidos orgánicos derivados de los grupos acetyl de la estructura de la lignocelulosa.

Guggols *et al.* (1981) reportan incrementos de alrededor de 119 por ciento en la digestibilidad de los zacates que fueron tratados con vapor caliente al parecer y de acuerdo con lo reportado por diversos investigadores, los coeficientes de digestibilidad de los forrajes alcanzan

sus máximos valores cuando se combina el tratamiento con vapor y la adición de compuestos químicos como hidróxido de sodio o amoníaco anhidro (NH_3).

Tratamiento Químico de las Pajas.

Al añadir compuestos químicos tales como Hidróxido de sodio (NaOH) o Amoníaco anhidro (NH_3) a los forrajes tratados físicamente, se ha demostrado que se incrementa en igual forma la digestibilidad y el consumo voluntario Asmud y Lars (1983).

La mayoría de los tratamientos químicos que se están desarrollando están basados en los siguientes principios:

- Tratamientos por humedecimiento con soluciones básicas o ácidas.
- Tratamientos por adición de estas soluciones, eventualmente combinándolas con el molido, picado o en cubos.

Llamas (1984) menciona que el tratamiento de pajas con sustancias alcalinas o ácidas realizan una predigestión ya que solubiliza algo de la hemicelulosa mediante la saponificación de los enlaces éster entre la lignina y los carbohidratos estructurales de la pared celular, se produce una hinchazón de la celulosa, esto por contacto con el agua y facilita la acción de las células bacterianas con el consecuente aumento de la digestión de los componentes de la fibra y consumo de forraje.

Por su parte Klopfenstein (1980) y Sundstol y Coxworth (1984) indican que la respuesta a este tipo de tratamientos depende de distintos factores tales como: especie de planta, características del forraje, nivel y tipo de agente activo utilizado, tiempo de tratamiento y temperatura entre otros.

El tamaño de Partícula y su Efecto sobre el Valor Nutritivo de los Forrajes y Consumo por los Animales.

Según Pigden y Bender (1978) los factores limitativos de desdoblamiento de la celulosa son la lignificación, tamaño de partículas y los contenidos de nitrógeno y sustancias minerales, ya que la lignocelulosa, pobre en nitrógeno requiere ser complementada con éste elemento para facilitarle al máximo su digestión, pero la reducción del tamaño de partícula por molienda aumenta el requerimiento de nitrógeno.

También mencionan que cuando existe menos del 65 por ciento de digestibilidad de un forraje, el factor volumen es importante para regular la ingestión y se puede modificar por molienda mecánica ya que:

- Reduce el tiempo y la energía necesaria para que las partículas atraviesen el rúmen.
- Aumenta el área superficial y, con ello el índice de fermentación en el rúmen.
- Incrementa la densidad del pienso y por consiguiente se eleva la capacidad efectiva de aprovechamiento del animal.

Por lo tanto la molienda es un modo eficaz de mejorar la calidad de los forrajes toscos; ya que permite que el animal aproveche casi tanta energía digestible (ED) como con los forrajes de buena calidad no sometidos a tratamiento.

Por su parte Balch y Campling (1982) mencionan que el tamaño crítico no está bien definido y probablemente varía con el tamaño del animal y posiblemente con la especie de planta.

Troelsen y Cambell (1988) consideran que las leguminosas tienen un mayor rango de pasaje que los pastos de similar digestibilidad.

Igualmente Greenhalgh y Wainman (1972) después de una investigación concluyeron que el tamaño óptimo de las partículas de alimento para el pasaje en el rumen es menor en borregos que en ganado vacuno y, a la vez menor en animales jóvenes que en animales adultos, esto debido a que el consumo de dietas de baja calidad puede ser más resistente a la trituración mecánica y microbial y el pasaje puede ser restringido más que en forrajes de alta calidad.

Mientras Wainman et al. (1972) citan que el molido, picado o peletizado de forrajes secos disminuyen el nivel de fibra cruda (FC) y cambia ligeramente el contenido de otros componentes, por lo que el procesamiento mecánico como el peletizado de forrajes de baja calidad resulta en un aumento en la digestibilidad.

En un trabajo realizado por Greenhalgh y Wainman (1972) utilizando ovejas y ganado vacuno encontraron que la disminución en la digestibilidad de la materia seca (MS) fue de 15 unidades porcentuales con heno de alta calidad y de 12 unidades con heno de menor calidad. El efecto fue particularmente marcado para la fracción de NDF y menor para el nitrógeno; aunque la mayor pérdida de energía del alimento en las heces debido al molido es compensada por las reducidas pérdidas de energía como metano o calor.

Por otra parte Flores (1983) indica que la molienda es uno de los principales métodos físicos para incrementar el consumo hasta de un 30 por ciento en la ingestión de energía digestible.

Se considera que la molienda representa el 50 por ciento de lo que se logra con el tratamiento alcalino, pero este efecto se nota con mayor claridad en forrajes de baja calidad.

La especie animal también influye en la decisión de realizar el procesamiento mecánico de los forrajes toscos. Por ejemplo Shimada (1983) menciona que debido a que los ovinos son muy selectivos y consumen de preferencia las hojas y tallos delgados, desperdiciando cantidades considerables de las partes leñosas de los residuos agrícolas; pero que este problema puede ser resuelto por medio del picado del forraje cuidando que éste no sea muy fino (seco o polvoso) ya que disminuiría el consumo.

El Amoniaco Anhidro (NH_3), sus Características y Usos.

Según Nicholson (1984) a presión y temperatura normal el amoniaco anhidro es un gas incoloro con olor penetrante. Esta sustancia es licuada fácilmente bajo presión y se disuelve rápidamente en agua. Cuando está a $20\text{ }^\circ\text{C}$ la presión del vapor es de 8.5 atmósferas y el peso específico a $0\text{ }^\circ\text{C}$ es de 0.63, el punto de ebullición a presión atmosférica es de $-33.4\text{ }^\circ\text{C}$ y el punto de congelación es de $-77.7\text{ }^\circ\text{C}$. El amoniaco es normalmente disponible con alto grado de pureza, alrededor de 90 por ciento (con aproximadamente 82 por ciento de Nitrógeno). El amoniaco anhidro es usado extensivamente como un material crudo en la industria de fertilizantes o directamente como tal, también se puede utilizar para tratamiento o como aditivo en forrajes.

El Amoniaco como Preservativo.

Según Knapp *et al.* (1975) quienes después de que emplearon el NH_3 en el tratamiento de forrajes concluyeron que este químico tiene potencial como preservativo ya que logra reducir el calentamiento, el enmohecimiento, pérdidas de materia seca, incrementa el nitrógeno total, N-amoniacal y desaparición *in vitro* de la pared celular, también permite el empacado y ensilaje del heno así como se incrementa significativamente la digestibilidad de materiales altamente lignificados tales como tallos de maíz.

Por su parte Thorlacius y Robertson (1984) trabajaron con alfalfa con alta humedad hasta 35 por ciento a la que se le aplicó 1 y 2 por ciento de NH_3 y fueron destapados a los 4 y 21 días después de la amonificación y encontraron que la inyección del 2 por ciento de amoniaco anhidro fue muy efectiva en prevenir el calentamiento y crecimiento de mohos en los dos períodos de remoción del plástico.

La amonificación también incrementó el contenido de proteína cruda de todos los forrajes tratados, siendo el mejor el que se le aplicó el 2 por ciento de NH_3 y este porcentaje igualmente previno la disminución de la digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO) que ocurrió durante el almacenaje en los demás tratamientos.

Así mismo Rotz et al. (1986) avalan todo lo anterior y agregan también que se mejora la apariencia visual del forraje y la disminución de las pérdidas de materia seca (MS) es debido a la envoltura al tratar el heno.

Ventajas y Desventajas del Empleo del Amoniaco Anhidro (NH_3) en Pajas y otros materiales Fibrosos.

Sundstol y Coxworth (1984) mencionan que el método de amonificación tiene las siguientes ventajas: se incrementa el nitrógeno no protéico (NNP), no presenta álcalis residuales porque el exceso de amoniaco se volatiliza, tiene efecto como preservativo, la cantidad de energía gastada en este proceso es relativamente pequeña comparada con la producción de otros alimentos para animales, el tratamiento con NH_3 no causa contaminación en suelo y agua; también pueden ser eliminadas semillas de malezas, por ejemplo avena loca y el método es económico aunque depende del nivel de tecnología aplicada.

Cabe mencionar que este químico tiene algunas desventajas como las siguientes: el exceso del amoniaco (2/3) se pierde en el aire, bajo

ciertas condiciones el exceso puede causar contaminación del aire para animales de granja, el valor energético del producto final es menor que el obtenido con algunos otros métodos (tratamiento con NaOH), los precios pueden fluctuar considerablemente, en algunas zonas no es posible obtenerlo comercialmente.

Podría tener consecuencias si no se utiliza adecuadamente como en un estudio llevado a cabo por Masella (1992) donde encontró que becerros alimentados con leche de vacas alimentadas con heno tratado con amoniaco desarrollaron sintomatologías en el sistema nervioso (bovinos Bonker).

Kamphues (1991), reporta que en un grupo de vaquillas a las que se les permitió comer libremente ensilaje de pasto tratado con amoniaco desarrollaron hiperestesia, hiperactividad y salivación abundante, el problema se resolvió dejando que la ensila se aireara removiendola por un día antes de darse como alimento.

Efecto del Amoniaco Sobre el Valor nutritivo de Forrajes y su utilización en la Alimentación de Rumiantes.

Flores (1983) afirma que el método de amonificación ejerce por lo general un efecto positivo en el consumo, pero cuando el forraje queda muy húmedo es menos apetecible y en ellos es difícil extraer el amoniaco sobrante, aunque se puede solucionar utilizando el ensilaje ácido para neutralizarlo. Cuando el proceso se realiza satisfactoriamente se obtiene por lo general un aumento en la digestibilidad del 10 al 15 por ciento, se incrementa también la energía digestible y considera que los forrajes toscos tratados aumentan su calidad nutritiva semejándose a un heno de calidad media.

Por su parte Fernández y Greenhalgh (1982) menciona que es más variable el aumento de la digestibilidad y que puede ser del 17 al 40

por ciento esto, dependiendo de la temperatura y duración del tratamiento.

En un trabajo realizado por Hanking (1986) en el que empleó el NH_3 para mejorar el valor nutritivo de forrajes toscos, tales como pasto y heno de festuca, paja de trigo y arroz y tallos de maíz: se encontró que los contenidos de proteína se incrementaron de 100 a 150 por ciento, mientras que el pasto bermuda (Cynodon dactylon) solamente se incremento en un 58 por ciento también encontró que la digestibilidad de la materia seca (MS) del heno de C. dactylon, heno de festuca, paja de trigo y rastrojo de maíz tratados con amoniaco fueron de 16, 46, 6, y 28 por ciento respectivamente; igualmente encontró aumentos en el consumo de heno de festuca, paja de trigo y arroz y rastrojo de maíz por borregos, novillos, novillonas y vacas.

Por su parte Rode et al. (1986) compararon el efecto del amoniaco, urea y rolado en cebada con alta humedad y su consecuencia en la digestión por ganado y obtuvieron los siguientes resultados: la desaparición de MS fue mayor para la cebada rolada que para los tratamientos restantes, pero en los coeficientes de digestibilidad in vivo no hubo diferencias, la digestión aparente del nitrógeno estuvo en relación con el consumo.

Mientras tanto Horton y Steacy (1979) experimentaron sobre los resultados del tratamiento con amoniaco en el consumo de tres variedades de pajas de cereales (cebada, avena y trigo) picado a 5 cm más un suplemento y obtuvieron que la adición de 3.5 por ciento de amoniaco incrementó el contenido de proteína cruda (PC) en las pajas de trigo y avena alrededor de 160 por ciento y en el de cebada fue más variable de 50 a 276 por ciento pero la amonificación no afectó ($p < 0.05$) el contenido de fibra cruda (FC), aunque si influyó en aumentar el consumo voluntario y de materia seca total entre 19 y 13 por ciento

respectivamente; también acrecentó la digestibilidad en un promedio de 7 por ciento y la energía digerida aumentó de 0.201 a 0.253 Mcal/ W^{0.75} kg./día, un incremento del 26 por ciento. Cabe mencionar que se encontraron diferencias entre las distintas variedades y pajas de cereales analizados por lo que se concluyó que estos no responden uniformemente al tratamiento con amoníaco (NH₃).

Por otra parte Brown (1990) empleó 75 gr. de urea/kg. de paja de trigo molida y entera con niveles de humedad de 25, 37.5 y 50 por ciento y los periodos de tratamiento de 0, 4, 8, 12, 24 y 48 semanas y observaron un pequeño incremento en la digestibilidad in vitro de la materia orgánica en el forraje entero y un ligero decremento en el contenido de constituyentes de la pared celular con un período de tiempo mayor.

Por su parte Cajal (1986) y Díaz et al. (1983) indican que los esquilmos amoniados pueden utilizarse hasta en un 50 por ciento en raciones para becerros y novillos, en estos animales se observaron mejores ganancias y consumo de alimento de forrajes amoniados así como mejores conversiones alimenticias y por razón lógica menores costos por kilogramo aumentado.

Así como Llamas et al. (1985) evaluaron los siguientes tratamientos: Paja de trigo amoniada (PT + NH₃) vs Paja sin tratar (PST) y suplementación de sorgo vs pulido de arroz y observaron que el amoníaco aumentó en 8 por ciento la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS); la fibra neutro detergente (FDN) disminuyó de 80.6 a 70.9 por ciento y la hemicelulosa de 24.4 a 18.8 por ciento. Además la proteína cruda (PC) (N x 6.25) aumentó de 3.1 a 10.6 (242 por ciento). Mientras que en la prueba con novillos los consumos de alimento y ganancia de peso no fueron significativos .

Igualmente Herrera–Saldaña *et al.* (1982) experimentaron con novillos el efecto del 5 por ciento de amoníaco en la paja de trigo, mediante los tratamientos: paja de trigo con amoníaco (PT + NH₃), paja de trigo (PT) testigo y paja de trigo más harina de pescado (PT + HP) sobre la digestibilidad y hallaron que únicamente el 18 por ciento del amoníaco inyectado fue ligado a la paja, la amoníación incrementó el contenido de proteína de la proteína total en 225 por ciento (de 3.6 a 8.1 por ciento); se observaron mayores consumos de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) y energía bruta (EB) por la amoníación, pero la adición de harina de pescado (HP) incrementó significativamente ($p > 0.01$) solamente el consumo de materia orgánica y ($p > 0.05$) la de proteína cruda y energía bruta, igualmente la amoníación acrecentó los coeficientes de digestibilidad de la proteína cruda de la paja de trigo y la de fibra ácido detergente y fue 10.6 por ciento mayor que la paja no tratada pero no hubo diferencias con la paja de trigo (PT) y harina de pescado (HP); así mismo el amoníaco aumentó ($p > 0.05$) la digestibilidad de la energía bruta. La concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) no variaron para ninguna dieta y la de N-NH₃ y el nitrógeno con urea en plasma (NUP) difirieron ($p < 0.05$) entre dietas.

Mientras que otros investigadores como Solaiman *et al.* (1979) en un trabajo con paja de trigo demostraron que el 12 por ciento del nitrógeno retenido en la paja amoniada fue ligado a la fracción de fibra ácido detergente (ADF).

Al-Rabbat y Heaney (1978) no encontraron alta síntesis microbiana en borregos alimentados con forraje amoniado a diferencia que cuando se les ofreció paja de trigo sin tratar al 64 por ciento de la ración, pero los contenidos de nitrógeno N en las dietas fueron relativamente altos, 2.9 y 1.8 respectivamente, los cuales pueden haber influenciado los resultados obtenidos.

Males y Gaskings (1982) reportaron mayor balance de nitrógeno en corderos que se les ofreció paja de trigo amoniataada que con dietas alimenticias basadas en heno de Alfalfa o paja de trigo sin tratar.

Por otro lado Nelson *et al.* (1984) investigaron los rangos de pasaje, consumo, digestibilidad aparente y balance de nitrógeno en carneros a los que se les ofrecieron tres niveles de una mezcla de harina de sangre – harina de gluten de maíz y mazorca de maíz tratado con 0, 2, 3 y 4 gramos de NH_3 /100 gr de MS y obtuvieron que el nivel de NH_3 afecta linealmente el contenido de NDF e incrementa ligeramente la DIVMS; pero únicamente pequeños aumentos en el nitrógeno de la pared celular (N-NDF) y (N-ADF) ocurrieron por la amoniación. También observaron que el rango de pasaje se acrecentó con el 4 por ciento de NH_3 , la proteína varió en los tratamientos de 9.9 a 24.8 por ciento. Estos mismos investigadores hallaron que el NH_3 aumentó cuadráticamente el consumo de MS con el 3 por ciento amoniaco y una disminución con el 4 por ciento. Este factor a la vez disminuyó linealmente la digestibilidad aparente de la MS a consumo ad libitum, pero se notó un efecto cúbico a consumo restringido, tampoco fue afectado el Nitrógeno urinario.

Liu *et al.* (1994) alimentaron borregos con dietas que contenían paja de arroz tratada con amoniaco mas 100 gramos de concentrado. Las dietas contenían 17.1, 17.3 y 17 por ciento de PC respectivamente y hubo una degradación de nitrógeno de 60.9, 60.2 y 59.5 por ciento. La digestibilidad de la MS fue de 55.6, 57.1 y 58.8 por ciento respectivamente y de la proteína cruda 75.1, 76.2 y 75.5 por ciento.

Sudana (1994) alimentó novillos durante 12 semanas a libre acceso con pasto, paja de arroz tratada con urea, o paja tratada y melaza con urea más 300 gramos de minerales, o paja tratada y 500 gramos de concentrado, los animales distribuidos en cuatro grupos ganaron en

promedio 104, 74, 220, y 196 gramos diariamente. La eficiencia del peso ganado y de la conversión alimenticia solo se incrementó significativamente cuando la paja tratada se daba con melaza-urea o con concentrado.

Huber et al. (1976) y Huber y Santana (1972) hallaron que el amoníaco y la urea aumentaron los contenidos de proteína cruda (PC) del ensilado de maíz en 1.3 y 1.45 por ciento respectivamente; también se elevó el consumo ($p > 0.05$) del forraje tratado con amoníaco y con urea cuando se comparó con el control, y por lo tanto hubo mayores ganancias de peso,

Otros investigadores como Saenger et al. (1980) estudiaron el efecto del amoníaco sobre el rastrojo de maíz, mediante los siguientes tratamientos: RM + suplemento de maíz, (control), RM + suplemento de urea, RM + Harina de soya y RM + 2 por ciento de NH_3 y los resultados muestran que el amoníaco acrecentó el contenido de proteína del rastrojo de maíz (RM) de 5.06 al 13 por ciento, igualmente el consumo de materia seca fue mayor en la amonificación comparada con las dietas restantes. Así mismo la retención de nitrógeno fue más alto en el rastrojo tratado con NH_3 que con el control y el suplemento con soya, pero no fue diferente con el tratamiento suplemento con urea.

En otro estudio de Martínez et al. (1985) donde evaluaron el efecto del NH_3 sobre la composición química del rastrojo de maíz y el comportamiento de borregos Tabasco alimentados con 50 por ciento de este forraje, hallaron que el porcentaje de proteína cruda (PC) se incrementó de 5.44 a 12.72 por ciento y paralelamente el contenido de nitrógeno no protéico (NNP) también aumentó debido a la amonificación; por este tratamiento la fibra ácido detergente (FAD) no cambió, pero si disminuyó la fibra neutro detergente (FND) de 78.32 a 63.12 por ciento. Igualmente encontraron que los animales que recibieron el rastrojo tratado con amoníaco anhidro consumieron mayor cantidad de materia seca (MS)

en comparación con el tratamiento control; aunque no se observaron diferencias significativas en la conversión alimenticia.

Por su parte Morris y Mowat (1980) investigaron el efecto del NH_3 sobre el incremento del valor nutritivo del rastrojo de maíz molido y picado y obtuvieron que el rastrojo molido incrementó el consumo voluntario de MO, MS, y ED en 47, 39 y 39 por ciento, la amonificación también incrementó las mismas variables en 12, 22 y 31 por ciento para cada uno. Por otra parte la interacción (amonificación x molido) acrecentó lo anterior en 63, 71, y 85 por ciento respectivamente, sobre las raciones molidas y no tratadas. Cabe hacer mención que el rastrojo molido disminuyó la digestibilidad de MS y FDN en 5 y 10 por ciento respectivamente y además redujo la digestibilidad de la MO en un 5 por ciento, aunque tuvo una tendencia de mermar la digestibilidad aparente de energía y FAD e incrementar la PC. Por su parte la amonificación mejoró la digestibilidad aparente de MS, MO, Energía y NDF en 9, 9, 14, 14 por ciento respectivamente.

Así mismo Paterson et al. (1981) obtuvieron incrementos significativos en el consumo y digestibilidad en corderos cuando trataron rastrojo de maíz con 3 por ciento de amoniaco anhidro durante tres semanas, pero en experimentos llevados a cabo con novillos, el rastrojo de maíz tratado no mostró efectos positivos sobre el comportamiento de los animales, los cuales contrastan con todas las investigaciones anteriores.

Comparación del Efecto del Amoniaco y de otras Sustancias Alcalinas.

El método químico de tratamiento de pajas y rastrojos con NaOH al parecer ha dado resultados satisfactorios lográndose incrementos de digestibilidad hasta del 20 por ciento. Sin embargo, el método presenta el inconveniente de que se requieren grandes volúmenes de agua para lavar

el álcali retenido en la paja, además de que ocurren pérdidas considerables de materia seca en el proceso de lavado.

El método químico que parece tener mayores ventajas y el cual se ha popularizado en los últimos años, es el método de “amonificación” desarrollado por Sundstol y Coxworth (1984). El tratamiento de forrajes con este método no únicamente incrementa la digestibilidad y el consumo voluntario sino también el contenido de proteína cruda y por otro lado no requiere agua para el tratamiento por lo que no existen pérdidas de materia seca.

Duarte y Shimada (1984) al tratar rastrojo de maíz con NH_3 , NaOH, y Urea, prepararon dietas conteniendo 45 por ciento de forraje y un complemento que incluyó monensina sódica y ésta fue ofrecida a borregos Pelibuey; encontraron en el análisis químico que el amoniaco incrementó la proteína cruda (PC) a más del doble que el rastrojo sin tratar, la proteína verdadera fue ligeramente superior a los demás tratamientos. La FND disminuyó al igual que la hemicelulosa y lignina, el contenido celular aumentó a 43.7 por ciento; con relación a los animales, observaron que los consumos de rastrojo de maíz tratados con NH_3 obtuvieron mejores ganancias de peso, mayor consumo de alimento ($p > 0.05$) para los animales que consumieron rastrojo con Amoniaco e Hidróxido de sodio pero la conversión alimenticia no tuvo diferencias ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

En un trabajo realizado por Hunt *et al.* (1984) experimentaron el efecto del tamaño de partícula y la aplicación de Hidróxido de sodio en la digestibilidad de paja de trigo mas 100 gr. de un concentrado con un 60 por ciento de proteína cruda; a 2.5 y 10 centímetros y las cantidades de Hidróxido de sodio fueron cero y 4 por ciento y encontraron que el producto químico aumentó el consumo de MS total y la digestibilidad de la FDN. Con paja de trigo a 2.5 cm el tamaño de partícula tuvo mayor

consumo ($p>0.05$) pero menor digestibilidad de MS y FDN al compararlo con el forraje de 10 cm.

Urrutia *et al.* (1982), al ofrecer rastrojo y ensilaje de maíz con y sin mazorca tratado con NaOH mas 138 gramos de suplementación /día a borregos en crecimiento, encontraron que las ganancias de peso logradas con los forrajes sin tratar no fueron diferentes (120, 83 y 97 gramos en el ensilaje de maíz, cañuela y rastrojo respectivamente). De los forrajes tratados la ganancia diaria obtenida con la planta sin mazorca (88 gramos) fue significativamente inferior a la de maíz completo (133 gramos) y similar a la del rastrojo (98 gramos) no habiendo diferencia entre las dos restantes no detectaron efecto del tratamiento alcalino sobre la ganancia de peso en cada forraje. La adición de álcalis incrementó significativamente el consumo de maíz completo. No se encontraron diferencias significativas en la conversión alimenticia entre los tratamientos.

Khan *et al.* (1995), proporcionó a corderos 70 por ciento de paja de trigo tratada con hidróxido de sodio y 30 por ciento de un concentrado que incluyó pasta de soya o urea y obtuvo ganancias de hasta 160 gramos por día, consumos totales de 1.226 kilogramos y conversiones alimenticias de 7.6 con el concentrado que incluyó pasta de soya con urea los animales fueron menos eficientes.

MATERIALES Y METODOS

Localización y Clima.

El presente estudio se desarrolló en la Unidad Metabólica y en el Laboratorio de Nutrición Animal, pertenecientes a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, los cuales se encuentran localizados en Buenavista, Saltillo Coahuila sobre la carretera Saltillo-Zacatecas a la altura del kilómetro 8, se encuentra localizado entre las coordenadas geográficas $25^{\circ} 22'$ de latitud norte y $101^{\circ} 01'$ de longitud oeste y a una altura sobre el nivel del mar de 1742 msnm. Su clasificación climática es BWh xw.(e.), la cual tiene las siguientes características: muy seco, cálido, lluvias escasas todo el año y extremoso. Su precipitación media anual es de 298.5 mm anuales, mientras que la temperatura media anual es de 14.8°C , con una mínima promedio anual de 11.9°C y una máxima promedio anual de 21.3°C (Mendoza, 1983).

Métodos.

El estudio constó de la prueba de análisis proximal, contenido de paredes celulares (Van Soest) y digestibilidad in vitro del rastrojo de maíz antes y después de ser tratado con amoníaco.

Preparación de Silos.

Se inició con el molido y picado de las pacas de rastrojo, el molido se llevó a cabo en un molino de martillo y utilizando una criba de aproximadamente una pulgada de diámetro, el picado se realizó mediante cortes de un tamaño de alrededor de 10 centímetros, se trataron con amoníaco anhidro, 75 pacas de rastrojo de maíz (25 molidas, 25 picadas y 25 enteras) las cuales pesaban en total alrededor de 1,100 kilogramos en

base húmeda. Igual número de pacas con los mismos tamaños anteriores permaneció sin tratar.

El tratamiento de las pacas de rastrojo de maíz se realizó mediante una modificación al método de Sundstol y Coxworth (1984), el cual se describe a continuación: se formó una pila con tres estibas de pacas de forraje, esto se efectuó alrededor de toda la superficie que se utilizaría y se dejó libre la parte interna de la pila, dividiéndola por la mitad, estas divisiones se emplearon para vaciar en ellas el rastrojo molido y picado por separado; debido a que el rastrojo contenía menor porcentaje de humedad al recomendado por la literatura para realizar un buen tratamiento (aproximadamente 30 por ciento). Se procedió a rociar con agua todo el forraje hasta que se alcanzó el porcentaje de humedad que se recomienda.

Alrededor de las estibas se llevó a cabo una zanja de 30 cm de ancho y 40 cm de profundidad y enseguida se cubrió la pila con una sábana de plástico de 0.3 mm de espesor la cual alcanzara a cubrir toda la fila y quedara libre aproximadamente 1.5 m alrededor de toda la estiba; la parte libre de la sábana se introdujo en la zanja y se fijó con tierra removida, dejando una pequeña parte libre para introducir la manguera e inyectar el amoníaco anhidro.

La cantidad de amoníaco inyectado al forraje fue de 4 por ciento del peso en base seca (aproximadamente 42 kg), después de terminada la inyección lenta del gas se fijó la parte libre del plástico y se dejó tapado para que reaccionara por un tiempo de cuatro semanas antes de proceder al muestreo de las estibas, después de pasado el tiempo establecido para que se llevara a cabo la reacción, se destapó el silo y se dejó airear por tres días para que se volatilizara el amoníaco sobrante.

Se hace mención que en los días de la aireación se notó en el forraje tratado, la proliferación de hongos del moho por lo que se procedió a extender el rastrojo con el fin de que perdiera humedad y así evitar que continuara el deterioro, después se tomaron muestras representativas de los diferentes tratamientos y se analizaron para determinar los porcentajes de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) ($N \times 6.25$) todo esto bajo las técnicas de la A.O.A.C. (1984); también se determinaron las fracciones de fibra (celulosa, Hemicelulosa y lignina) mediante el método de Van Soest (1970); igualmente se determinaron los coeficientes de digestibilidad in vitro de las fracciones del rastrojo de maíz por el método de Tilley y Terry modificado por Barnes (1970).

RESULTADOS Y DISCUSION.

Análisis Químico.

Se hace mención que los resultados del análisis proximal, fracciones de fibra y digestibilidad in vitro de los diferentes tratamientos son parte de los datos de esta investigación, la cual fue complementada con un estudio para observar la influencia del tratamiento químico y mecánico sobre los parámetros a medir y estos a su vez sobre las pruebas biológicas las cuales fueron reportadas en una tesis de postgrado.

Los resultados del análisis proximal del rastrojo de maíz sin tratamiento y tratado con amoniaco a diferente tamaño de partícula se presentan en el cuadro 4.1.

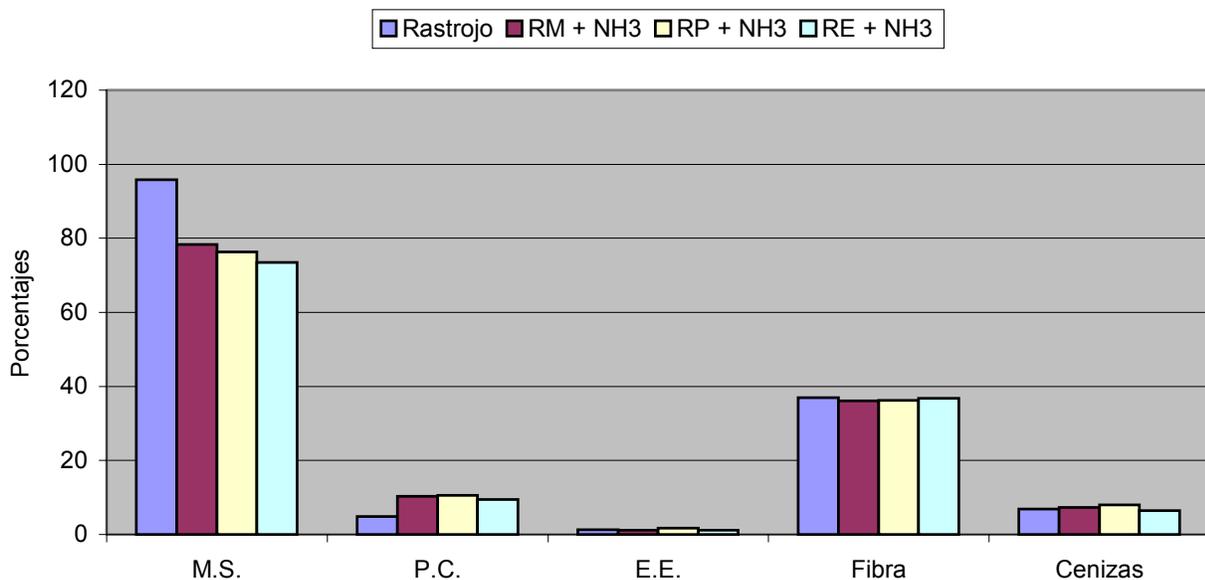
Cuadro 4.1. Análisis químico del rastrojo de maíz sin tratamiento y tratado con amoniaco a diferente tamaño de partícula.

Tratamiento	M.S.	P.C.	E.E.	Fibra	Cenizas
Rastrojo	95.80	4.90	1.23	37.00	6.83
Rastrojo molido + NH ₃	78.38	10.33	1.10	36.06	7.31
Rastrojo picado + NH ₃	76.30	10.62	1.76	36.70	8.05
Rastrojo entero + NH ₃	73.40	9.40	1.10	36.90	6.41

*M.S.= Materia Seca.

*P.C.= Proteína Cruda.

*E.E.= Extracto Etéreo.



Gráfica 4.1 Análisis químico del rastrojo de maíz sin tratamiento y tratado con amoniaco a diferente tamaño de partícula

El porcentaje de materia seca disminuyó a medida que se incrementó el tamaño de partícula para el rastrojo tratado con amoniaco 78.38, 76.30 y 73.40 por ciento para el rastrojo, molido, picado y entero respectivamente. La materia seca del rastrojo sin tratar fue de 95.80.

Se observó un incremento en el porcentaje de proteína cruda (PC) en el rastrojo de maíz amoniado molido, picado y entero de 110, 116 y 91 unidades porcentuales al compararlo con el rastrojo sin tratamiento; estos valores son menores a los obtenidos por Duarte y Shimada (1984) quienes encontraron un incremento de 148 por ciento de proteína cruda al tratar con amoniaco rastrojo de maíz molido.

Martínez et al. (1985) obtuvieron un 132 por ciento de incremento de proteína cruda en ésta fracción al tratar con amoniaco rastrojo de maíz en pacas.

Saenger et al. (1980) hallaron un incremento de 157 por ciento de proteína al tratar rastrojo de maíz con amoniaco.

Horton y Steacy (1979) experimentaron los tratamientos con amoníaco al 3.5 por ciento en tres pajas de cereales (cebada, avena y trigo) picadas a 5 cm y encontraron incrementos de proteína cruda (PC) en las pajas de trigo y avena de alrededor de 160 por ciento y en la paja de cebada varió de 50 a 276 por ciento por lo que se concluye que las distintas variedades de pajas y rastrojos no responden uniformemente al tratamiento químico.

Con relación al efecto del tratamiento químico sobre el contenido de extracto etéreo, la amonificación incrementó en 7.3 por ciento esta fracción al compararlo con el rastrojo sin tratar.

García E. R. (1980) al tratar rastrojo de maíz con hidróxido de sodio encontró valores de 9.5 por ciento de extracto etéreo para el rastrojo sin tratar y 10, 9.6 y 8.1 por ciento para los tratamientos de 2, 4 y 6 por ciento de hidróxido de sodio.

Urrutia et al. (1982). Trató rastrojo y ensilaje de maíz con hidróxido de sodio y encontró porcentajes de 10 por ciento de extracto etéreo para el ensilaje de maíz y 8.3 para el rastrojo.

Las cenizas tuvieron un incremento promedio de 6 por ciento en cada fracción al compararlo con el rastrojo sin tratar, estos valores son inferiores a los encontrados por Herrera-Saldaña et al. (1982). Los cuales fueron mayores de 6 por ciento.

Cuadro 4.2. Porcentaje de fracciones de fibra del rastrojo de maíz sin tratar y tratado con amoniaco a diferente tamaño de partícula.

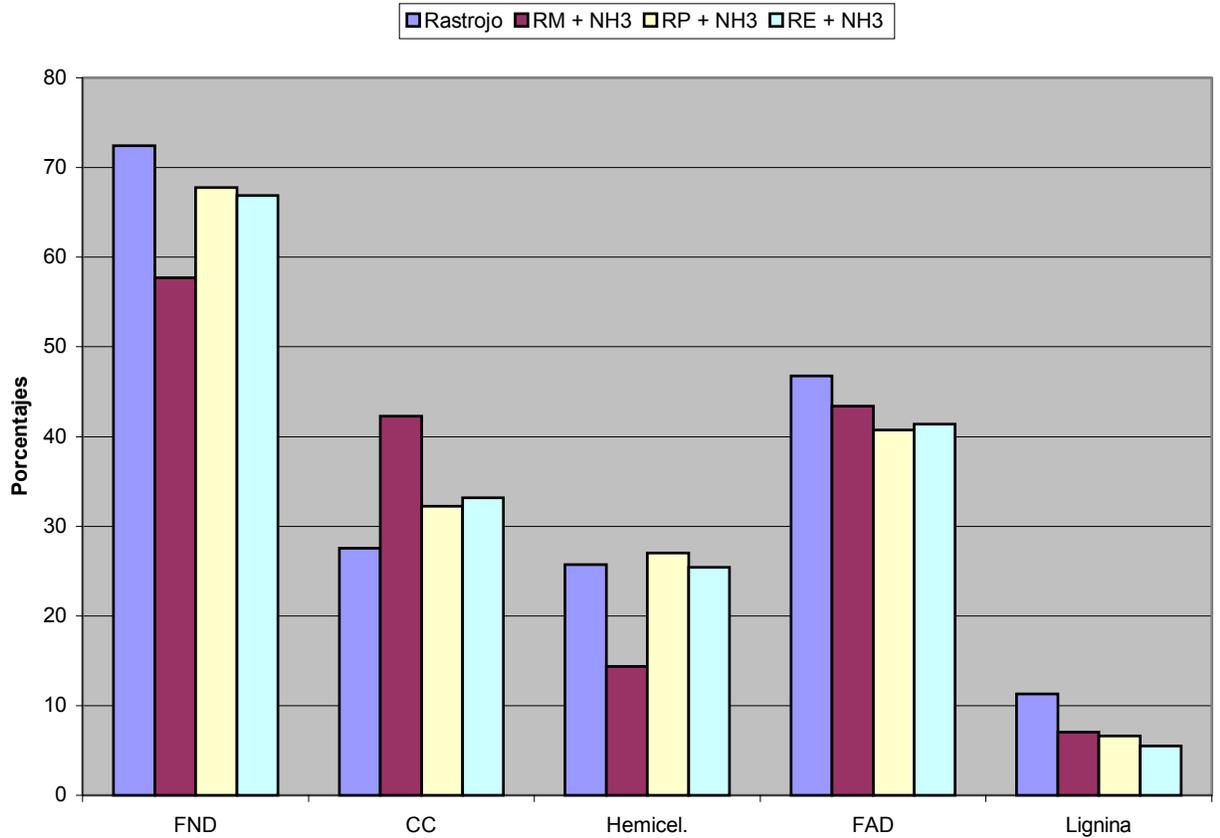
Tratamiento	FND	CC	Hemicel.	FAD	Lignina
Rastrojo sin tratamiento	72.45	27.55	25.70	46.75	11.30
Rastrojo molido + amoniaco	57.73	42.27	14.35	43.40	7.01
Rastrojo picado + amoniaco	67.77	32.23	27.02	40.75	6.63
Rastrojo entero + amoniaco	66.85	33.15	25.45	41.41	5.50

*FND = Fibra Neutro Detergente.

*Hemicel. = Hemicelulosa.

*CC = Paredes Celulares.

*FAD = Fibra Acido Detergente.



Gráfica 4.2 Porcentaje de fracciones de fibra del rastrojo de maíz sin tratar y tratado con amoníaco a diferente tamaño de partícula.

Se encontró que el amoníaco influyó en el tamaño de partícula al disminuir la fracción de fibra neutro detergente con valores de 20, 7 y 7.7 por ciento para el rastrojo molido, picado y entero respectivamente al compararlo con el rastrojo sin tratamiento, esto se debe a que el amoníaco solubilizó algo de la hemicelulosa lo que hace más disponible el contenido celular.

Estos valores son muy similares a los encontrados por Duarte y Shimada (1984) y Martínez *et al.*(1985) al tratar pacas de paja de trigo mas amoníaco los cuales tuvieron incrementos de 78.32 a 63.12 por ciento.

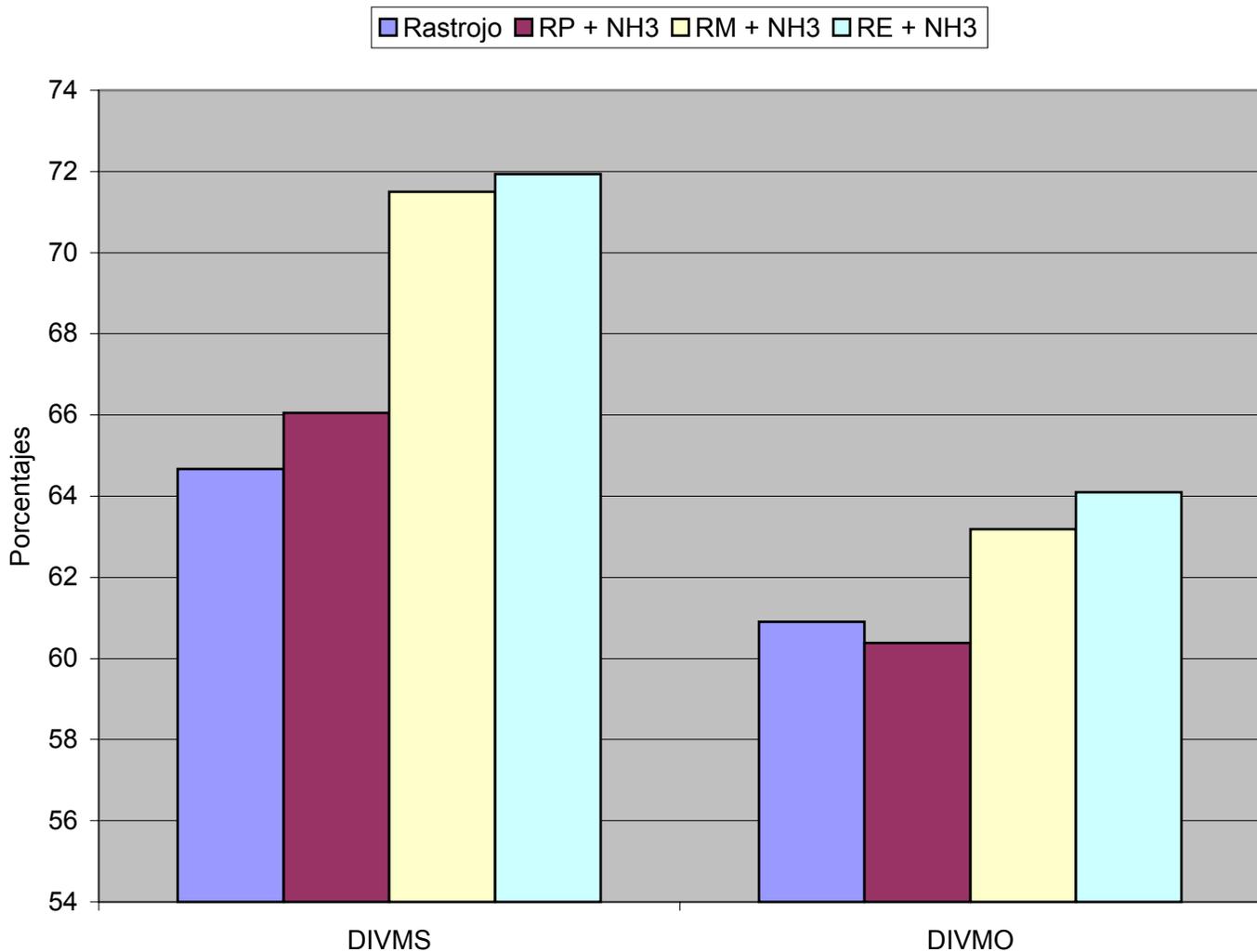
En relación con el efecto del químico sobre la fracción de fibra ácido detergente se obtuvieron incrementos porcentuales en el rastrojo molido y picado respectivamente, los valores son semejantes a los reportados por Herrera-Saldaña et al. (1982) en pacas de trigo tratadas con amoniaco las cuales fueron mayores en 10.6 por ciento mayores que las pajas no tratadas.

Cuadro 4.3. Porcentajes de Digestibilidad in vitro de la M.S. y M.O. del rastrojo de maíz sin tratar y tratado con amoniaco a diferente tamaño de partícula.

Tratamiento	DIVMS	DIVMO
Rastrojo sin tratamiento	64.67	60.91
Rastrojo molido + amoniaco	66.05	60.38
Rastrojo picado + amoniaco	71.50	63.19
Rastrojo entero + amoniaco	71.94	64.10

*DIVMS = Digestibilidad in vitro de la Materia Seca.

*DIVMO = Digestibilidad in vitro de la Materia Orgánica



Grafica 4.3 Porcentajes de digestibilidad in vitro de la MS y MO del rastrojo de maíz sin tratar y tratado con amoniaco

En el análisis de la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) se hallaron ligeros cambios ascendentes paralelos al tamaño de partícula del rastrojo de maíz, sugiriendo una mayor reacción del amoniaco a medida que aumenta el tamaño del rastrojo o una menor pérdida de materia seca durante el tratamiento, estos datos son porcentajes similares a los reportados por Llamas *et al.* (1985) al tratar paja de trigo con amoniaco y se aumentó la digestibilidad de la materia seca en un 8 por ciento.

Knapp et al. (1975) al tratar pacas de alfalfa conteniendo 32 por ciento de humedad encontraron aumentos de la digestibilidad de la materia seca en 8.7 por ciento.

Klopfenstein et al. (1980) al tratar rastrojo de maíz con hidróxido de sodio hallaron valores mayores de 8 por ciento.

La digestibilidad in vitro de la materia orgánica mostraron porcentajes de 60.91 para el rastrojo sin tratamiento y en los tratamientos tuvieron porcentajes de 60.38, 63.19 y 64.10 para el rastrojo molido, picado y entero respectivamente.

Estos resultados son inferiores a los reportados por Llamas et al.(1995) cuando trataron pacas de paja de trigo con amoniaco y reportaron valores por arriba de 67 por ciento..

Por su parte Morris y Mowat (1980) al investigar el efecto del amoniaco sobre el incremento del valor nutritivo del rastrojo de maíz molido y picado encontraron una disminución de la digestibilidad en 5 por ciento.

Por el contrario Paterson et al. (1981) obtuvieron incrementos significativos en la digestibilidad cuando trataron rastrojo de maíz con 3 por ciento de amoniaco.

Nelson et al. (1984) investigaron los rangos de digestibilidad aparente en mazorca de maíz tratado con 0, 2, 3 y 4 gramos de amoniaco por cada 100 gramos de materia seca y hallaron ligeros incrementos en la digestibilidad y disminución a medida que se incrementó el porcentaje de amoniaco en los tratamientos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- a) El rastrojo de maíz procesado mecánicamente y tratado con amoniaco eleva su digestibilidad y su contenido de Nitrógeno.
- b) El mayor incremento de proteína cruda se encontró en el rastrojo picado tratado con amoniaco.
- c) El tratamiento mecánico y químico de los residuos agrícolas es una alternativa para el uso de estos en la alimentación de rumiantes.
- d) Se recomienda llevar a cabo investigaciones para determinar el comportamiento en animales.

RESUMEN

Se llevó a cabo el tratamiento de 75 pacas de rastrojo de maíz con amoníaco anhidro al 4 por ciento en base seca, se molieron 25 pacas, 25 se picaron y 25 en pacas, igual número de pacas permaneció sin tratar.

El tratamiento del rastrojo de maíz se realizó mediante una modificación al método de Sundstol y Coxworth.

El rastrojo permaneció tapado después del tratamiento durante 4 semanas tiempo suficiente para que el gas amoníaco reaccionara, posteriormente se destapó el silo y se dejó aerear durante 3 días para que se volatilizara el amoníaco sobrante.

Se tomaron muestras de rastrojo picado, molido y entero (pacas) y se llevaron a laboratorio para determinar por análisis proximal: materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, fibra y cenizas y se compararon con muestras sin tratamiento.

Se realizó un análisis de porcentaje de fracciones de fibra mediante la prueba de Van Soest determinando: fibra neutro detergente, fibra ácido detergente y lignina ácido detergente.

También se efectuó una prueba de digestibilidad in vitro de la materia seca y de la materia orgánica.

En los resultados del análisis químico se observó un decremento del porcentaje de materia seca a medida que el tamaño de partícula aumenta.

El incremento en el porcentaje de proteína cruda en el rastrojo tratado molido, picado y entero fue de 110, 116 y 91 unidades mayor respecto al rastrojo sin tratar de 4.90 por ciento.

El contenido de extracto etéreo se incremento mediante la amonificación en promedio 7.3 por ciento con respecto al rastrojo sin tratar.

Los porcentajes de cenizas se incrementaron en 6 por ciento en cada fracción tratada.

El amoniaco influyó en el tamaño de partícula al disminuir la fracción de fibra neutro detergente en valores de 20, 7, y 7.7 por ciento para forraje molido, picado y entero respectivamente.

En el análisis de la digestibilidad in vitro de la materia seca se hallaron ligeros cambios ascendentes paralelos al tamaño de partícula 64, 66 y 71 por ciento.

En el análisis de la digestibilidad in vitro de la materia orgánica se encontró un mayor porcentaje en el rastrojo picado (63.19) y entero (64.10) con respecto al rastrojo sin tratar, el cual fue semejante al rastrojo tratado molido 60.91 y 60.38 por ciento respectivamente.

LITERATURA CITADA.

- A. O. A. C. 1984. Official methods of analysis. 14th Edition. Association of Official Agricultura Chemist. Washington D. C.
- Al-Rabbat, M. F. and D. P. Heaney. 1978. The effects of anhydrous treatment of wheat straw and steem cooking of aspen wood on their feeding value on ruminal activity. II J. Fermentable energy and microbial growth derived from ammonia nitrogen in the ovine rumen. Can. J. Anim. Sci. 58(3); 453-463. Canada.
- Asmund, E. y V.M. Lars. 1983. Forrajes conservados como alimento para vacas lecheras. En Broster, W. H. y S. Henry (Comp.) Estrategia de alimentación para vacas lecheras de alta producción. AGT. Editor. México. P. 258.
- Balch. C.C. and R.C. Campling. 1982. Regulation of voluntary food intake in ruminants. Nutr. Abst. Anu. Rev. 36:669. U.S.A.
- Balsen, K.K., O. Grimes and J. R. Riley. 1987. Mild stover in rations for growing heifers and lambs. J. Anim. Sci. 45:337. U.S.A.
- Barnes, R. F. 1970. Colaborative research with the two stage in vitro rumen fermentation technique. In: Barnes, R. F., D. C. Clanton., C. H. Gordon., T. J. Kpolfenstein and D. R. Waldo (Eds) Proceeding of the National Conference of Forage Quality Evaluation and utilization. Nebraska, 235-254 p. U.S.A.
- Brown, W.F. 1990. Ammoniation or cane molasses supplementation of Tropical Grass Hay. Agricultural research and education center, University of Florida USA. 3: 3, 377-381; 25 Ref.
- Cajal, M. C. 1986. Esquilmos agrícolas. En: Shimada, A. S., F. Rodríguez G. y J. Cuaron. (Ed.). Engorda de ganado bovino en corrales. Consultores en producción animal México. 258 p
- Church, D. C. 1989. Digestive Physiology and nutrition of ruminants. vol. 2 (Second Ed.) Corvallis U.S.A. p. 412.
- Díaz, N., T., G. Llamas L. y R. Gómez. 1983. Paja de trigo tratada con amoniaco en gas y dos fuentes de energía para novillos en crecimiento. Instituto Nacional de Investigaciones

Pecuarías. Reunión de Investigaciones Pecuarías en México
pp. 684-687. México.

Duarte J., A., y A. Shimada S. 1984. Comportamiento del borrego pelibuey en crecimiento alimentado con dietas con base en rastrojo de maíz tratado con álcalis (NH_3 , NaHO y Urea). Tec. Pec. Mex. 47p 141-146

Fernández Carmona, J. and J.F.D. Greenhalgh. 1982. The digestibility and acceptability to sheep of chopped or milled barley straw soaked or sprayed with alkali. J. Anim. Sci. 78:477. England.

Flores M., J.A. 1983. Bromatología animal. 3ª Edición Limusa México

Gill, S., H. R. Conrad and J. W. Hibbs. 1979. Relative rate of in vitro cellulose disappearance as a possible estimation of digestible dry matter intake. Jour. Dairy Sci. 52:1687 U.S.A.

García, A., J.L. 1992. Esquilmos menor costo de crianza en engorda Cebú. 8:1. México.

García, E. R. 1980. Alimentación de borregos criollos con raciones a base de rastrojo de maíz con diferentes niveles de hidróxido de sodio (NaOH). Tesis maestría UAAAN Saltillo México.

Greenhalgh, J. F. D. and F. W. Wainman. 1972. The nutritive value of processed roughage for fattening cattle and sheep. Proc. Br. Soc. Anim. Prod. 61:62. U.S.A.

Guggols, J. G. M. Mc. Donald, H. G. Walker, A. A. Brown W. N. Carrent and G. O. Kohler. 1981. Chemical treatment of agricultural waste to improve digestibilities as livestock feed. Proc. West. Sec. Amer. Sci. 72:71. U.S.A.

Hanking. B. J. 1986. Using Anhydrous Ammonia to improve Hay Quality. Nutrition Abstract. J. Anim. Sci. 56(1); 5. Scotland.

Herrera-Saldaña, R., D. C. Church and R. O. Kellems. 1982. The effect ammoniation treatment on intake on nutritive value of wheat straw. J. Anim. Sci. 54(3); 603-608. U.S.A.

- Horton, G. M. J. and G. M. Steacy. 1979. Effect of anhydrous ammonia treatment on the intake and digestibility of cereal straws by Steers. *J. Anim. Sci.* 49(5); 1239-1249. U.S.A.
- Huber, J. T. And O.P. Santana. 1972. Ammonia Treated Corn Silage for dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 55(4); 489-493. U.S.A.
- Huber, J. T., N. E. Smith and Stiles. 1976. Distribution of N in NH₃ treated and control corn silage. *J. Anim. Sci.* 43(1); 325-(Abstract) U.S.A.
- Hunt, C.W., J.A. Paterson, G.M. Zinn and J.R. Williams. 1984. Effect of particle length and sodium hydroxide treatment of wheat straw on site and extent of digestion by lambs. *J. Anim. Sci.* 58(6); 1454-1456. U.S.A.
- INEGI.1997. El sector Alimentario en México. Edición 1997. 340 pp.
- Jackson, M. G. 1980. Treating straw for animal feeding, and assesment of its technical and economic feasibility. *Animal Production and Heat Paper.* 10. FAO.
- Kamphues, J. 1991. Case report of disturbances and salivation in heifers fed ammoniated grass silage. *Institut Tierernahrung Brumerstrase, Berlin Germany.* 98: 1; 35-36.
- Khan, MFU. 1990. Ammoniation of moldy straw and hays to improve nutritive value and (or) alliviate micotoxicosis when fed to ruminants. *New Mexico State University, Las Cruces, USA.* 50:8 3227B
- Khan, MFU, Smith, GS, and Rankins DL, Jr.1995. Ammoniation of moldy or nonmoldy praire hay and its feeding value for sheep. *Animal Sciences Institute, National Agricultural IResearch Centre. Islamabad Pakistán.* 15: 3, 209-219; 29 Ref.
- Klopfenstein, T. 1980. Increasing the nutritive value of crop residues by chemical treatment. *Animal Sci. Departament, University of Nebraska.* U.S.A.
- Knapp, W. R., D. A. Holt and V. L. Lechtenberg. 1975. Hay preservation and quality improvement by anhydrous

ammonia treatment. *Agronomy Journal*. 67(6); 766-769. U.S.A.

Liu, JX; Wu, YM; and Zhu, SQ. 1994. Comparative efficiency of utilization of formaldehyde-treated rapeseed and soybean meals in ammoniated rice straw diet by sheep. College of Animal Sciences, Zhejiang China.

Llamas L., G. 1984. Tratamiento alcalino de pajas y rastrojos. En Soriano T. J., F. Ruiz L. y A. Shimada S. (Eds.) *Memorias del segundo curso nacional de actualización en nutrición y alimentación en rumiantes*. APAINIP. P. 127-131. México.

Llamas, L. G., H. Cañez, C., R. Gómez A., y T. Díaz N. 1985. Uso de paja de trigo tratada con amoniaco en la alimentación de Novillos en crecimiento en corral de engorda. *Tec. Pec. Mex.* 46; 46-53 Mex.

Males, J. R. And C. T. Gaskins. 1982. Growth, nitrogen retention, dry matter digestibility and characteristics associated with wheat ammoniated straw diets. *J. Anim. Sci.* 55(3); 505-515. U.S.A,

Martínez, A. A., M. J. Soriano T. y A. Shimada S. 1985. Crecimiento de borregos pelibuey alimentados con rastrojo de maíz tratado con amoniaco anhidro. *Tec. Pec. Mex.* 48 pp. 54-65. México.

Masella, R. Jacques, D. 1992. Ammoniated forage poisoning of cattle. *Centre de Recherche STELA, Université Laval, Montreal Canada* 48: 5, 11-15; 3 Ref.

Mendoza, H., J. M. 1983. Diagnóstico climático para la zona de influencia de la UAAAN. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*. 615 p. Coahuila, México.

Morris, P. J. and D. N. Mowat. 1980. Nutritive Value of ground and/or ammoniated corn silage. *Can. J. Anim. Sci.* 60(2); 327-336 Can.

Nelson, M. L., Klopfenstein and R. A. Britton. 1984. Protein supplementation of ammoniated roughages. 1. Corn cobs supplemented with a blood meal-corn Gluten meal

mixture lamb studies. Jour. Anim. Sci. 59(6); 1601-1609. U.S.A.

Nicholson, W.G.J. 1984. Digestibility, nutritive value and feed intake. In: Sundstol, F. and E. Owen. Straw and other fibrous by products as feed. Elsevier. Netherlands. P. 340-371.

Oji, U. I., D. N. Mowat and J. E. Winch. 1977. Alkali treatment of corn stover to increase nutritive value. J. Anim. Sci. 44(5); 798-802. U.S.A.

Paterson, J. A., T. J. Klopfenstein and R. A. Britton. 1981. Ammonia treatment of corn plant residues: Digestibilities and growth rates. Jour. Anim. Sci. 53(6) 1592-1600. U.S.A.

Pigden, W. J. y F. Bender. 1978. Aprovechamiento de la lignocelulosa por los rumiantes. En: FAO. Revista Mundial de Zootecnia. 12; 43-46. Italia.

Rexen, F. 1989. Low quality forages improve with treatment feedstuff. Jour Anim. Sci. 51(42); 33. U.S.A.

Rode, L. M., K.J. Cheng and J. W. Costerton. 1986. Digestion by cattle of urea-treated, ammonia-treated or rolled high-moisture barley. Can. Jour. Anim. Sci. 66(3); 711-721. Canada.

Rotz, C. A., R. J. Davis and J. W. Thomas. 1986. Anhydrous ammonia for preservation of alfalfa hay. Nutrition Abstract. 56(1); 5. Scotland.

Saenger, P. F., R. P. Lemanager and K. S. Hendrix. 1980. Intake and digestibility of corn harvest residue treated with anhydrous ammonia. Jour. Anim. Sci. 59(6); 1601-1609. U.S.A.

Shimada, A. S. 1983. Fundamentos de Nutrición Animal Comparativa. Consultores en Producción Animal. México. P. 272.

Solaiman, S. G., G. W. Horn and F. N. Owen. 1979. Ammonium hydroxide treatment of wheat straw. Jour. Anim. Sci. 49(3) 802-808. U.S.A.

- Sundstol, F. And E. M. Coxworth. 1984. Amonia treatment. In: Sundstol, F. And E. Owen. Straw and Other Fibrous By-Products as Feed. Elsevier. Netherlands. P. 197-247.
- Sudana, I. B. 1994. Effects of Supplementing a urea ammoniated rice straw diet with urea molasses block or concentrate on intake and liveweight change of cattle. Departament of Animal Nutrition and Tropical Forage. Bali Indonesia.
- Thorlacius, S. O. And J. A. Robertson. 1984. Effectiveness of anhydrous ammonia as a preservative for high-moisture hay. Can. Jour. Anim. Sci. 64(4); 867-880. Canada.
- Thorton, R. F. and D. J. Minson. 1982. The relation ship between voluntary intake and mean apparent retention time in the rumen Austr. Jour. Agr. Res. 23:871. Australia.
- Troelsen, J. E. And J. B. Campbell. 1988. Voluntary consumption of forage by Sheep and its relation to the size and shape of particles in the digestive tract. Anim. Prod. 10 : 289-296. Great Britain.
- Urrutia M., J., L. Martínez R. y A. Shimada S. 1982. Valor nutritivo de rastrojo y ensilaje de maíz con o sin mazorca, tratados con hidróxido de sodio, para borregos en crecimiento. Tec. Pec. Mex. 42. pp. 7-16. México.
- Van Soest., P.J. 1970. The chemical basis for nutritive evaluation of forages. Proc. Nat. Conference on Forage Quality Evaluation and Utilization. Nebraska, U.S.A.
- Wainman, F.W., K.L. Blaxter and J.S. Smith. 1972. The utilization of energy of artificial dried grass prepared in diferent ways. Jour. Anim. Sci. Camb. 78: 441-117. Great Britain.
- Waldo, D. R. 1980. Factors influencing the voluntary intake of forages. Proc. Nat. Conference on Forage Quality Evaluation and Utilization. Nebraska, U.S.A.